УДК 621.311

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Б.В. Лукутин, Р.А. Вайнштейн, Ю.В. Хрущев

Представлены основные результаты научных исследований факультета автоматики и электроэнергетики электротехнического института. Направления этих исследований отвечают современным требованиям электроэнергетической отрасли и основываются на традиционных научных школах Томского политехнического университета.

Современные требования к объектам электроэнергетики, тенденции их развития и совершенствования определяют направления научных исследований кафедр факультета автоматики и электроэнергетики Электротехнического института. Решению актуальных проблем сегодняшнего дня способствуют богатые традиции электротехнической школы Томского политехнического университета, основанной более ста лет назад профессором А.А. Потебней и получившей развитие в трудах нескольких поколений электроэнергетиков.

В настоящей статье представлен обзор наиболее существенных современных разработок ученых факультета, определяющих основные направления исследований кафедр электрических станций, электрических систем и электроснабжения промышленных предприятий.

Защита от замыканий на землю в электроустановках 6...35 кВ

В результате многолетней работы коллектива кафедры электрических станций созданы и широко используются на практике в течение многих лет устройства защиты от замыканий на землю в электроустановках с изолированной нейтралью и в электроустановках с компенсацией емкостного тока. Данная тематика исследований продолжает успешно развиваться и в плане научных исследований и, что особенно важно, в плане внедрения в электроэнергетической отрасли. Актуальность этих работ определена тем, что сети с компенсацией емкостных токов замыкания на землю в России и странах СНГ являются наиболее распространенным видом распределительных электрических сетей, а также отсутствием серийных технических средств для комплексного решения задачи защиты и контроля элементов таких сетей.

В настоящее время на кафедре создан комплекс устройств для защиты от замыканий на землю, измерения расстройки компенсации емкостных токов и автоматической настройки дугогасящих реакторов [1-5].

Работа полностью доведена до технической реализации. Аппаратура может поставляться заказчикам по договорам.

Комплекс предназначен для электрических станций и подстанций, питающих кабельные компенсированные сети 6...35 кВ. Устройства, входящие в состав комплекса, выполняют следующие функции:

1. Защита и селективная сигнализация однофазных замыканий на линиях.
2. Защита от замыканий на землю в обмотках статоров генераторов, подключенных непосредственно к сборным шинам.
3. Непрерывное измерение расстройки компенсации при использовании в сети дугогасящих реакторов со ступенчатым регулированием.
4. Автоматическое поддержание заданной расстройки компенсации при использовании в сети плавно регулируемых дугогасящих реакторов.

Разработка базируется на результатах научных исследований кафедры электрических станций, которые позволили установить, что в сети с компенсацией емкостных токов достаточно надежным признаком для выявления поврежденного элемента при наиболее частом виде замыкания - дуговом перемежающимся является уровень низкочастотных гармоник в полосе примерно до 30 Гц. При устойчивых замыканиях действие защиты обеспечивается за счет искусственного наложения контрольного тока с частотой 25 Гц. В качестве источника контрольного тока используется статическое устройство - электромагнитный параметрический делитель частоты специальной конструкции, который своей выходной обмоткой включается последовательно в цепь дугогасящих реакторов со стороны заземления. Контрольный ток при металлическом замыкании на землю составляет от 0,15 А в сети 35 кВ до 1 А в сети 6 кВ. Измерительные релейные органы защиты представляют из себя высокочувствительные максимальные токовые реле с соответствующим образом подобранным фильтром низких частот. Измерительные органы защиты могут подключаться как к кабельным трансформаторам тока нулевой последовательности, так и к фильтрам тока нулевой последовательности, составленным из типовых фазных трансформаторов тока, благодаря возможности частотной отстройки от тока небаланса.

Работа устройства для непрерывного измерения расстройки компенсации емкостных токов и автоматической настройки дугогасящих реакторов основана на использовании электрических величин с частотой 25 Гц, создаваемых источником контрольного тока в нормальном режиме работы сети, и, в частности, то обстоятельство, что отношение напряжения с частотой 25 Гц на дугогасящем реакторе к напряжению источника контрольного тока од-

нозначно зависит от степени расстройки компенсации.

Комплекс устройств в течение многих лет успешно эксплуатируется на Ново-Кемеровской, Кемеровской, Усть-Каменогорской ТЭЦ, и других предприятиях. Защита от замыканий на землю генераторов, работающих на сборные шины, в составе комплексной цифровой защиты типа ШЭ1113, выпускаемой предприятием "Экра" (г. Чебоксары), выполняется с использованием результатов данной разработки.

Обязательным требованием к защитам от замыканий на землю в обмотках статоров генераторов, особенно мощных, работающих в блоке с трансформатором, является отсутствие зоны нечувствительности. Длительная совместная работа ТПУ и Кузбассэнерго по этому вопросу показала, что наиболее приемлемым решением является устройство, основанное на наложении на цепи статора генератора постоянного тока. Такое устройство не только полноценно решает задачу устранения зоны нечувствительности, но и, как показал длительный опыт эксплуатации, обладает диагностическими свойствами по отношению к некоторым развивающимся дефектам в цепи статора генератора.

Особенностью устройства защиты с наложением постоянного тока является то, что его элементы подключаются к первичным цепям без использования типовых измерительных трансформаторов.

В последних разработках устройство защиты выполнено так, что уровень изоляции вторичных цепей от первичных соответствует принятому для трансформаторов напряжения, а конструктивное исполнение таково, что правила монтажа и эксплуатации также сходны с аналогичными правилами для трансформаторов напряжения.

Устройство защиты, как правило, имеет два органа с релейной характеристикой по эквивалентному сопротивлению цепей статора относительно земли.

Во всех случаях устройство снабжается прибором для непрерывного измерения эквивалентного сопротивления цепей статора относительно земли.

Защита генераторов с наложением постоянного тока довольно широко внедрена в энергосистемах, в частности в Кузбассэнерго защитой с наложением постоянного тока оснащены все генераторы, работающие в блоке с трансформатором (30 генераторов). Общая наработка составляет 600...700 комплекто-лет с действием на отключение. За время эксплуатации с помощью этого устройства был выявлен ряд дефектов и нарушений в цепях статора генератора, что позволило предотвратить возможные большие повреждения генераторов и развитие аварий.

Геоинформационное моделирование электрических сетей

Появление новых компьютерных технологий моделирования территории и, особенно, цифрового моделирования местности существенно улучшают сервисные возможности информационных систем электрических сетей и расширяют круг решаемых задач [6]. На кафедре электрических систем более десяти лет ведутся разработки информационно-расчетных комплексов электрических сетей. В настоящее время совместный коллектив разработчиков ТПУ и ТГУ имеет опыт внедрения в эксплуатацию геоинформационных систем городских электрических сетей (г. Абакан и г. Томск) и ведет разработку геоинформационных систем предприятий электрических сетей Кузбасской энергосистемы. Геоинформационное моделирование электрических сетей реализуется в виде информационной системы (ИС), состоящей из графической и атрибутивной баз данных [7]. Графическая база данных ИС реализуется средствами геоинформационной системы (ГИС) и обеспечивает:

- графическое представление трасс ЛЭП, планов подстанций на цифровой модели местности с автоматизированным формированием и оценкой зон отчуждения земель;
- графическое представление оперативных схем электрических сетей на плане местности;
- графическое представление оперативных схем электрических сетей без привязки к местности с послойным представлением объектов различных классов напряжения, обеспечивающим высокую обзорность и детализацию. Достоверность графов оперативных схем обеспечивается использованием сведений о состоянии коммутаторов (включён-выключен) от телеметрических систем.

Атрибутивное моделирование реализуется средствами MS SQL - сервера и обеспечивает:

- описание объектов и оборудования в форме технических паспортов, расширенных в объёме, необходимом для выполнения инженерных расчётов;
- описание "жизни" объектов и оборудования в виде последовательностей событий (монтаж, ввод в эксплуатацию, осмотры, испытания, аварийные ситуации, ремонты, списание, демонтаж, замена и т.п.).

Каждое событие представляется с указанием интервалов времени, исполнителей, выявленных неисправностей и рекомендаций по их устранению, а также использованных материалов.

Информационные запросы реализуются с использованием графовых моделей электрических сетей [8], атрибутивных баз данных и обеспечивают получение интегральных оценок текущего состояния, выявления слабых мест, остаточных ресурсов и стоимости объектов и оборудования, оценок деятельности эксплуатационного персонала.

Одним из основных информационных запросов является запрос на выполнение расчётов режимов электрических сетей для анализа нормальных, послеаварийных режимов энергосистем [9].

Разработка эффективных методов и систем управления динамическими переходами энергосистем

Необходимость разработки методов и систем управления динамическими переходами энергосистем продиктована тем, что в последние десятилетия происходит быстрое развитие безынерционных плавно управляемых технических средств управления режимами энергосистем многофункционального назначения, таких как статические тиристорные компенсаторы, управляемые реакторы, мощные асинхронизированные синхронные машины, фазосдвигающие устройства, сверхпроводящие электромагнитные накопители электрической энергии, электропередачи и вставки постоянного тока. Размещение и параметры этих средств управления определяются технико-экономическими условиями установившихся режимов и статической устойчивости энергосистем. Возможности их использования для обеспечения динамической устойчивости энергосистем на практике, как правило, не реализуется, поскольку не разработаны соответствующие законы и системы автоматического управления.

Разрабатываемый подход к решению задач управления динамическими переходами электроэнергетических систем (ЭЭС) основывается на общетеоретических методах построения адаптивных систем управления программным движением технических объектов. Основная идея этих методов заключается в разделении задачи синтеза систем управления на подзадачу построения программных траекторий движения объектов и подзадачу формирования, обеспечивающую эти траектории управлений. [10]

Обоснование конструктивности предложенного нового подхода к построению адаптивных систем управления динамическими переходами ЭЭС и разработка методов численного определения управляющих воздействий на его основе выполнены посредством моделирования процессов на ЦВМ с применением математических моделей элементов энергосистем средней точности. Для решения задач синтеза таких систем предусматривается применение гибридных моделирующих комплексов, оснащенных более точными моделями элементов энергосистем. [11]

Достаточный опыт разработки и выполнения аналого-цифровых гибридных моделирующих комплексов (ГМК) энергосистем накоплен на факультете автоматики и электроэнергетики ТПУ. Один (специализированный) комплекс успешно эксплуатируется в Тюменской энергосистеме с 1998 года. Второй (учебно-исследовательский) находится в завершающей стадии выполнения. Этот комплекс предназначается для обновления лабораторной базы кафедры электрических систем и для решения научно-исследовательских задач, в том числе задач синтеза адаптивных систем управления динамическими переходами энергосистем. [12]

Наиболее существенными результатами, полученными в этом направлении, являются следующие:

- сформулирован и обоснован новый подход к синтезу автоматических систем управления динамическими переходами энергосистем, базирующийся на принципах построения адаптивных систем управления программным движением технических объектов;
- разработаны, в рамках названного подхода, несколько способов и алгоритмов построения программных траекторий движения генераторов и расчета на их основе управлений и управляющих воздействий по условиям сохранения устойчивости динамических переходов сложных энергосистем;
- разработаны и экспериментально обоснованы принципы построения гибридных моделирующих комплексов, применяемых для модельных исследований задач синтеза адаптивных систем управления динамическими переходами энергосистем.

По этим результатам за последние пять лет защищены одна докторская и две кандидатские диссертации.

Второй уровень составляют задачи, связанные с созданием на базе ГМК ЭЭС:

- всережимного, работающего в реальном времени советчика диспетчера;
- автоматизированного рабочего места для настройки, тестирования и исследования реальных аналоговых и цифровых средств релейной защиты и автоматики;
- многоцелевого, работающего в реальном времени, всережимного тренажера;

Кроме этого решается задача:

- обработки неретроспективных статистик параметров рабочих режимов и переходных процессов энергосистемы для создания и применения методик оценивания режимных состояний ЭЭС,
- оценки эффективности работы релейной защиты и противоаварийной автоматики, управления рабочими режимами и переходными процессами.

Уникальные свойства ГМК ЭЭС используются на факультете для создания принципиально нового комплекса лабораторных установок кафедры электрических систем, позволяющего проводить широкий спектр исследований режимов ЭЭС в рамках подготовки специалистов-электроэнергетиков.

Работы в области энергосбережения и возобновляемой энергетики

Научно-практические результаты, полученные факультетом совместно с Региональным центром энергосбережения за последние 5 лет в области

энергосбережения, позволили расширить и углубить тематику этих работ. Перспективным направлением исследований на факультете сегодня являются децентрализованные системы электроснабжения с различными энергоисточниками. [13-15]

На кафедре электроснабжения промышленных предприятий продолжают развиваться работы по энергетическому использованию природных возобновляемых энергоресурсов. В частности, выполнены исследования по разработке критериев и методик оценки эффективности применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии (ВИЭ): Солнца, ветра, малых водотоков, биомассы (лес, торф), подземных термальных вод. В качестве критериев оценки эффективности применения ВИЭ использованы 3 группы показателей: технические; экономические; социально-экологические.

Оценка эффективности применения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии для электрификации объектов, не имеющих централизованного электроснабжения, производится на основе сравнительного технико-экономического анализа всех возможных вариантов электрификации.

В группу технических показателей входит критерий технической выполнимости проекта. Исходными данными для него являются сведения об основных технических характеристиках первичного источника энергии - кадастр возобновляемых энергоресурсов региона, в частности Томской области, и технико-экономические характеристики современных автономных энергоустановок. Кадастр содержит энергетические характеристики ветра, Солнца, потоков рек, биомассы, подземных термальных вод с учетом территориальных и сезонных изменений.

К группе экономических показателей отнесены два критерия: приведенные годовые затраты на 1 кВт установленной мощности энергоустановки и себестоимость вырабатываемой электроэнергии.

В качестве социально-экологических критериев рассматриваются: потенциальная угроза жизни людей; наличие топливной составляющей; отчуждение земли; влияние на птиц и животных; акустическое воздействие и вибрация; электромагнитное излучение.

Оценка социально-экологических критериев производится качественно и может служить дополнительным критерием при выборе наиболее рационального варианта электроснабжения автономного объекта.

Предлагаемая методика опробована на примере Томской области и может быть распространена на любой регион.

Практическим результатом инвентаризации и оценки потенциала ВИЭ региона стал проект создания на территории Томской области ряда геотермальных теплоэлектростанций в зонах децентрализованного энергоснабжения.

Проект выполняется совместно с Региональным центром энергосбережения при поддержке Организации индустриального развития ООН и Глобального экологического фонда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайнштейн Р.А., Головко С.И., Григорьев В.С., Коберник Е.Д., Максимов В.Н., Юдин С.М. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6-10 кВ // Электрические станции. - 1998. - № 7. - С. 26-30.
2. Головко С.И., Вайнштейн Р.А., Юдин С.М. Селективная сигнализация однофазных замыканий и изменение расстройки компенсации в сетях 30-35 кВ // Электрические станции. - 2000. - № 7. - С. 33-36.
3. Патент 2180462 Россия. Устройство для измерения расстройки компенсации емкостного тока замыкания на землю / С.Л. Березницкий, Р.А. Вайнштейн и др. Опубл. в Б.И., 2002.- № 7.
4. А.с. 890513 СССР. Устройство для защиты от замыкания на землю / Р.А. Вайнштейн, С.И. Головко. Опубл. в Б.И., 1981. - № 46.
5. Вайнштейн Р.А., Бобрин В.Д., Волков Г.А., Карбышев А.Ф., Никитин Л.А. Опыт эксплуатации и модернизация защиты от замыканий на землю в обмотке статора гидрогенераторов Красноярской ГЭС // Электрические станции. - 1992. - № 9 - С. 12-15.
6. Слюсаренко С.Г., Рожков В.П., Субботин С.А., Скворцов А.В. Современные информационные технологии в эксплуатации инженерных сетей // Геоинформатика 2000: Труды международной научно-практ. конф. - Томск: Изд-во ТГУ, 2000.
7. Слюсаренко С.Г., Заподовников К.И., Субботин С.А., Скворцов А.В. Применение ГИС-технологий в электроэнергетических системах // Геоинформатика 2000: Труды международной научно-практ. конф. - Томск: Изд-во ТГУ, 2000.
8. Слюсаренко С.Г., Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Применение графовых моделей для анализа инженерных сетей // Вестник Томского государственного университета. - 2002. - Т. 273.
9. Слюсаренко С.Г., Костюк Л.Ю., Субботин С.А., Скворцов А.В., Сарычев Д.С. Расчет установившегося режима электрической сети в ГИС ГрафИн // Вестник Томского государственного университета. - 2002. - Т. 273.
10. Хрущев Ю.В. Управление движением генераторов в динамических переходах энергосистем. - Томск: Изд-во STT, 2001. - 310 с.
11. Вайнштейн Р.А., Гусев А.С., Хрущев Ю.В., Шмойлов А.В. Концепция разработки семейства гибридных моделей энергосистем // Управление и автоматизация электроэнергетических систем. - Новосибирск: НЭТИ, 1991.- С. 10-15.
12. Гурин С.В., Гусев А.С., Хрущев Ю.В. и др. Гибридное моделирование электроэнергетических систем. Новые возможности и перспективы // Энергетика: экология, надежность, безопасность: Матер. Всеросс. научно-техн. семин. - Томск, 1997. - С. 120-136.

13. Лукутин Б.В., Обухов С.Г., Шандарова Е.Б. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций. - Томск: Изд-во STT, 2001. - 120 с.
14. Кадастр возможностей // Под ред. Б.В. Лукутина. - Томск: Изд-во НТЛ, 2002. - 280 с.
15. Лукутин Б.В. Энергоэффективность преобразования и транспортировки электроэнергии. Учебное пособие. - Томск: Изд-во "Курсив", 2000. - 130 с.

УДК 06.35.51